

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LAS INCLUSIONES

por JOSE JAVIER GONZALEZ DE ALAIZA GARCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS

I. INTRODUCCION

Si definimos el cristal como realidad periódica (Amorós, 1952), realidad natural periódica quizás fuese más correcto, pues no debemos olvidar el origen natural del mismo, las demás características del cristal son solamente consecuencia de aquella premisa. Es decir, la periodicidad es el imperativo categórico del cristal y a él nos debemos de referir siempre y tomarlo como punto de partida. Por consiguiente podemos establecer como definición de cristal la de todo cuerpo sólido, homogéneo, periódico (simétrico) y anisótropo, limitado por caras planas que se han desarrollado naturalmente (Amorós, 1958, Jong, 1967, etc.). Esta definición comporta el hecho de que la materia cristalina tenga las propiedades fundamentales de anisotropía, simetría y configuración externa definida.

Pero estas características enunciadas que corresponden a una agrupación de átomos estrictamente ordenados, una estructura que obedece a la definición de Groth, corresponde al cristal ideal, al que podemos considerar como un ente matemático, abstracto, o un ente atómico perfecto. El cristal real, el que nos encontramos en la naturaleza, es un ente natural, plagado de defectos. Estos defectos son inherentes a la existencia misma del cristal y sin los cuales no podría existir, por lo que la imagen del cristal real, sólido perfecto, con los átomos distribuidos regularmente de un modo exacto con arreglo a un retículo y formando un poliedro de caras perfectamente planas, es sólo una primera aproximación.

Las investigaciones de Tolansky, por medio de la interferometría, y las observaciones al microscopio electrónico, han revelado que en las caras de los cristales que parecen perfectamente planas, existen irregularidades del orden de algunos angströms, y, por tanto, invisibles con los métodos de observación clásicos.

Muchas propiedades físicas se pueden interpretar de un modo muy aceptable por medio del esquema ideal de los cristalógrafos, pero otras, como son ciertas propiedades ópticas o mecánicas, varían mucho de un cristal a otro. Los diamantes, por ejemplo, por pertenecer al sistema cúbico deberían ser ópticamente anisótropos, pero muchos de ellos no lo son. Existen en los cristales muchas

Estas desviaciones del cristal ideal, pueden ser de diferentes tipos, y, en líneas generales, pueden agruparse de la manera siguiente:

- a. Relativas a su extensión.
- b. Relativas a su dinámica (Vibraciones térmicas).
- c. Relativas a su composición (Inclusiones e impurezas).
 - 1.—Substitución.
 - 2.—Adición.
 - 3.—Substracción.
 - 4.—División.
- d.—Relativas a su integridad estructural (Defectos reticulares).
 - 1.—Dislocaciones (Dislocaciones lineales y dislocaciones helicoidales).
 - 2.—Poligonización.
 - 3.—Metamictos.

En relación con las imperfecciones del cristal deben hacerse dos indicaciones importantes:

a. Sólo existe un número finito de imperfecciones en el cristal. Puesto que de otra manera el cristal se transformaría sin brusquedad en un fluido, contrariamente a lo que se observa.

b. Las imperfecciones reaccionan mutuamente. Como consecuencia de ello se origina una serie de efectos importantes que deben ser considerados.

De hecho, los distintos tipos de imperfecciones han sido introducidos a medida que eran necesarios para explicar un fenómeno dado, y por tanto, su descripción está íntimamente ligada al fenómeno que se quiere explicar.

Vamos a estudiar seguidamente las inclusiones como parte de las realidades que se nos presentan en el cristal real.

II.—INCLUSIONES

Podemos definir las inclusiones como diversos materiales, inhomogeneidades ópticas o defectos que se presentan en el interior del cristal. Dado que la parte práctica de este estudio se ha hecho estudiando fundamentalmente gemas, que en definitiva no son más que especies minerales que presentan las propiedades de belleza, durabilidad y rareza, me voy a referir a lo largo del mismo, fundamentalmente a ellas.

La naturaleza variada de las inclusiones, su composición y génesis las hacen un importante elemento de diagnóstico, sobre todo para la diferenciación de las gemas naturales de las sintéticas, pero también sirven en muchos casos para aportar datos que nos indiquen el tipo de yacimiento en que la piedra se ha formado, sus condiciones de formación y hasta su localización geográfica.

El estudio de las inclusiones ha de realizarse con la ayuda de la lupa binocular o del microscopio.

pio, preferentemente petrográfico, y sumergida la piedra en un líquido de índice de refracción lo más parecido al de ella. Con estos aparatos en el estudio de las inclusiones podremos apreciar su estructura, es decir, morfología y tamaño, su textura o disposición, su porte y hábito, su índice de refracción en relación al del cristal huésped, la existencia de planos o líneas de exfoliación y maclado, transparencia, color, naturaleza óptica, estado físico, si se han producido fenómenos de reabsorción o tensiones, etc., para lo que nos valdremos de diversos dispositivos y accesorios como son el campo oscuro, la luz episcópica o diascópica, la luz polarizada con nícoles cruzados o paralelos, la luz ultravioleta, el contraste de fases y las láminas compensadoras del microscopio petrográfico. Pero en muchos casos el diagnóstico se hace incierto debido a que las inclusiones son redondeadas, informes, opacas o difusas, por lo que es necesario, si es posible, utilizar métodos más complejos como son la microsonda de Castaing o microanalizador, el difractómetro de rayos X sobre polvo cristalino, o incluso en algunos casos los rayos laser.

III. CLASIFICACION DE LAS INCLUSIONES

Existen diferentes criterios para establecer una clasificación de las inclusiones, aunque modernamente los podemos considerar reducidos a tres: según su estado físico, su morfología o su génesis. En este trabajo vamos a utilizar fundamentalmente este último criterio, pues ha sido el utilizado para el estudio del material del que hemos dispuesto.

1.—Clasificación atendiendo a su estado físico.—Atendiendo a su estado físico, podemos clasificar las inclusiones en sólidas, líquidas y gaseosas, atendiendo simplemente al estado físico de la inclusión.

Cuando en una inclusión se encuentran materiales en un mismo estado de agregación se dice que son monofásicas (una sola fase), por ejemplo en estado líquido, aunque se aprecien dos o más líquidos distintos. Si las inclusiones están formadas por materiales en dos o más estados, por ejemplo, líquido-gas, o sólido-líquido, son bifásicas. Si en las inclusiones se aprecian tres estados diferentes, sólido-líquido y gas, se denominan trifásicas.

Algunos autores prefieren emplear los términos de bifásicas y trifásicas para indicar la existencia de dos o tres materiales de distinta composición, aun cuando estén en el mismo estado físico (caso de líquidos inmiscibles, etc.).

2.—Clasificación atendiendo a su morfología.—Atendiendo a la forma de la inclusión, evidentemente en este caso se trata únicamente de inclusiones sólidas, las inclusiones pueden dividirse en:

a.—Cristalinas. Son inclusiones en las que apreciamos caras, aristas y vértices, con más o menos detalle. Caso de que se aprecien en ellas perfectamente su porte y hábito, se denominan Euhédricas o Cristales euhédricos, pudiendo éstos a su vez clasificarse según estas características por sistemas cristalográficos. (Figura 1).

b.—Masivas o informes. Son aquellas inclusiones en las que no se aprecia una forma típica ni característica, adoptando formas irregulares (aspecto de terrones de tierra, formas redondeadas, etc.).

3. Clasificación atendiendo a su génesis.—Es la denominada clasificación genética de las inclusiones, en su origen y evolución histórica de las inclusiones respecto al cristal huésped que las contiene. Esta clasificación considera si las inclusiones se formaron antes, durante o después de completarse el desarrollo del cristal que las incluye. (Ver cuadro I).

La clasificación genética de las inclusiones la podemos establecer en los siguientes apartados:

a.—Inclusiones protogenéticas.

Las inclusiones protogenéticas son materiales existentes antes de la formación del cristal huésped que fueron englobados durante el proceso de la cristalización del magma. Son siempre sólidas y pueden presentarse en forma de cristales euhédricos, como cristales parcialmente reabsorbidos o corroídos, y como materiales amorfos muchas veces indistinguibles. Su morfología está influenciada por su origen, que puede ser de dos clases:

1.—Materiales mucho más viejos que el cristal huésped.—Dichos cristales se han originado en los primeros procesos de cristalización al enfriarse la masa magmática, formando parte de los primeros minerales que constituyeron la roca y que fueron capturados en posteriores cristalizaciones, por ejemplo, materiales formados en una primitiva cristalización magmática que fueron más tarde englobados por cristales originados por procesos metamórficos. Estas inclusiones suelen presentarse como materiales reabsorbidos, rodados, amorfos, o como esqueletos de cristales.

2.—Cristales de una generación más vieja englobados por otra más joven.—La presencia de inclusiones de este tipo, puede ser debida a que algunos minerales, por su punto más alto de fusión, cristalicen primero y son posteriormente englobados por los que los hacen después. Por ejemplo cristales de apatito o zircón, que cristalizan en las primeras etapas y quedan englobados en espinelas o corindones, de posterior cristalización. En el caso del apatito (de fórmula $(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}) \text{Ca}_5$) englobado por cristales de espinela (de fórmula $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mg}$) es debido a que el fósforo se agota rápidamente, siendo mucho más abundantes los restantes ele-

mentos, lo que permite un mayor crecimiento de los cristales de espinela que acaban englobando a los de apatito.

También puede suceder que haya detenciones en el proceso de la cristalización; por variaciones en la composición o propiedades de la solución madre, y los cristales primeramente formados queden englobados en otros, de igual o distinto material. Es el caso de los cristales de diamante en diamante.

Las inclusiones originadas en estos procesos suelen ser cristales euhédricos, aunque a veces también pueden presentarse parcialmente reabsorbidos o redondeados, debido a reacciones químicas entre los componentes del magma y el cristal formado, que ha sido erosionado.

Las inclusiones protogenéticas se presentan sin ninguna distribución especial en el interior del cristal huésped, si no que están repartidas arbitrariamente en el interior del mismo.

Entre las inclusiones protogenéticas más frecuentes podemos citar: Actinolita, tremolita y hornblenda (anfíboles) en esmeralda, granate y cuarzo. Apatitos y zircones en granate, espinela y corindón. Biotita, moscovita, fuchcita y flogopita (micas) en cuarzo, zafiros y esmeraldas. Cromita en esmeraldas africanas. Cuarzo en aguamarina, esmeralda y topacio. Diamante en diamante. Pirita y pirrotina en corindón y esmeralda. Rutilo y asbesto en cuarzo.

b. Inclusiones singenéticas.—

Las inclusiones singenéticas son materiales sólidos y líquidos que se formaron durante el proceso de la cristalización y quedaron incluidos en el cristal huésped. Es decir que la inclusión y el cristal huésped se formaron simultáneamente. Este tipo de inclusiones admite la siguiente clasificación:

1. Minerales sólidos.—Se trata de cristales o materiales que crecen en la misma solución madre en donde se desarrollan los cristales de la gema que posteriormente los engloba. Su crecimiento es simultáneo, pero al detenerse el crecimiento de uno de ellos, a veces por agotarse el material que lo formaba, son englobados por el otro que continúa creciendo. (Figura 1).

Los materiales incluidos suelen tener forma cristalina clara, pues no ha habido ocasión a reacciones químicas que produjesen reabsorciones o erosiones en la inclusión. También estas inclusiones adoptan disposiciones ordenadas, siguiendo determinados planos reticulares del cristal huésped, pues en estas condiciones de formación simultánea existe una cierta libertad de movimientos entre los

cada uno de ellos de acuerdo con la red estructural atómica del otro.

Como en este caso, las inclusiones y el cristal huésped son minerales paragenéticos, asociados en el mismo yacimiento, en ocasiones la presencia de determinada inclusión sirve para poder determinar la procedencia geográfica de la gema huésped. Por ejemplo, la existencia de zircones indica generalmente que se trata de gemas de Ceylán, o la de cristales de pirocloro de uranio en zafiros que su origen es de Pailin (Camboya).

Los minerales singenéticos incluidos más importantes son: Calcita en rubíes de Birmania y esmeraldas de Muzo (Colombia). Cromo-diópsido y olivino en diamante. Cuarzo, en aguamarina, topacio y esmeralda. Feldespatos, en rubí y zafiro de Siam. Rutilo y turmalina, en cuarzo. Pirita, en zafiro y esmeralda. Pirrotina, en corindón, diamante y esmeralda. Zircón, en corindón.

2.—Singenéticas líquidas.—Se trata de cavidades con líquidos en los que suele haber una burbuja gaseosa y a veces pequeños cristales. Pueden ocupar planos extensos del cristal, formando a modo de velos, cortinas, huellas digitales o alas de insectos. (Figuras 2 a 6).

Los líquidos que las rellenan suelen ser restos de la solución madre que han quedado retenidos en fisuras o poros de su interior, por lo que son más frecuentes en gemas que cristalizan a partir de una magma acuosa (gemas pegmatíticas o hidrotérmicas), por ejemplo, berilo y cuarzo, que en las que lo hacen en un magma no acuoso (gemas que cristalizan en los procesos magmáticos de las primeras etapas) como el diamante y zircón.

Estas inclusiones pueden ser primarias o secundarias, según fueran capturadas, en sus caras, durante el crecimiento del cristal, se formarán en la cicatrización de fracturas o grietas producidas en el cristal cuando todavía estaba creciendo.

a. Singenéticas líquidas primarias.—Se forman durante el crecimiento del cristal huésped debido a interrupciones locales en el aporte de la solución madre o influencias extrañas que hacen que cambie en una determinada zona la composición de dicha solución, lo que puede producir reabsorciones y que se sustituyan grupos de átomos del retículo cristalino por otros diferentes, quedando cavidades que adoptan formas cristalinas, a veces parecidas al cristal huésped, rellenas de líquidos, gases y hasta restos de cristales. Estas inclusiones primarias suelen ser grandes y poco numerosas.

b. Singenéticas líquidas secundarias.—Estas inclusiones secundarias también se originan durante el proceso de la cristalización, pero se producen en la cicatrización de fisuras, fracturas o planos de

exfoliación que se han abierto mientras el cristal está creciendo, debido a tensiones que sufre por diversas causas. A veces pueden seguir la línea de caras posibles o planos de exfoliación y formar velos rectos, pero en muchas ocasiones su distribución es irregular, curvada o retorcida, estas inclusiones secundarias suelen ser pequeñas, abundantes y ocupar planos extensos.

Los líquidos encontrados en estas cavidades son muy variados: agua, ácido carbónico, soluciones salinas, anhídrido sulfuroso, etc., y más raramente hidrocarburos. En ocasiones se encuentran líquidos inmiscibles en la misma inclusión. Los cristales que a veces llevan suelen ser de cloruro sódico, cloruro potásico, carbonato cálcico, sulfato cálcico, etc.

3.—Marcas de crecimiento.—Se trata de estrias o zonas bandeadas de distinta coloración, que se aprecian en numerosas gemas, producidas por cambios de composición química en la solución madre o en las condiciones de la cristalización en el transcurso de ella. Suelen ser líneas rectas que forman ángulos, y son casi siempre prueba del origen natural de los materiales que las presentan.

Estas marcas de crecimiento son muy frecuentes en corindones, esmeralda y amatista. En algunos corindones se aprecian también zonas coloreadas separadas por bandas de pequeños cristales de rutilo, pero éstos se han formado por procesos de purificación o exolución. (Figura 8).

En muchos casos las condiciones de cristalización variaron tanto que se observa como el cristal creció en varias etapas, apreciándose perfectamente un cristal pequeño dentro de otro mayor de la misma forma, dándoseles el nombre de cristales fantasmas.

También se consideran inclusiones singenéticas las líneas o planos de maclado que se aprecian al observar corindones, sobre todo con luz polarizada, debido a estar constituidos por maclas polisintéticas. Aunque a veces la interpretación es incierta porque pueden haberse producido después de terminar el crecimiento del cristal con lo que su origen sería epigenético.

c.—Inclusiones epigenéticas.

Son aquellas inclusiones que se han producido al terminar el crecimiento del cristal huésped. Su origen puede deberse a cambios bruscos de la presión y temperatura en el yacimiento, lo que hace que los cristales soporten grandes tensiones que pueden modificarlos, fisurarlos, exfoliarlos o romperlos. En muchos casos como existen soluciones acuosas diversas en sus alrededores pueden penetrar en las grietas formadas, rellenarlas y originar depósitos de materiales que llevan en disolución. (Figura 7).

Este tipo de inclusiones también pueden producirse por golpes o accidentes producidos una vez extraídas las gemas del yacimiento, durante el proceso de pulido o en etapas posteriores.

En muchas ocasiones dichas inclusiones se deben a cambios producidos en sustancias radioactivas existentes en algunas inclusiones, o por fenómenos de exolución.

Los procesos epigenéticos más importantes son: fenómenos de exolución, fracturas tensionales o mecánicas y la alteración de sustancias radioactivas.

1. Inclusiones minerales sólidas exolutivas.—Se originan cuando sustancias disueltas en el cristal se desmezclan en etapas posteriores a la formación, por ejemplo, por elevación de la temperatura y posterior enfriamiento, dando lugar a pequeños cristales en forma de aguja, placas, gotas, etc. Dichos cristales suelen presentar una disposición ordenada y orientada, que quedan dentro del esqueleto cristalino del cristal huésped, adaptándose a su estructura. (Figura 8).

Por este mecanismo se originan las piedras "estrella" o con efecto "ojo de gato", siendo frecuentes exoluciones de TiO_2 (rutilo) en agujas, en rubí y zafiro; las placas de lepidocrocita, en iolita; las de oligisto, en cuarzo; las de ilmenita, en diópsido y espectrolita, etc.

2.—Inclusiones tensionales o mecánicas. Se trata de fisuras producidas en el yacimiento o en épocas posteriores, por diversas tensiones, stress, o golpes, y que pueden rellenarse por materiales diversos existentes en soluciones que las bañan. Por este procedimiento se originan las inclusiones dendríticas en las ágatas musgosas al rellenarse sus fisuras o cavidades con compuestos de hierro o manganeso, dando posteriormente lugar a la formación de depósitos de óxidos. (Figura 12).

3.—Inclusiones radioactivas.—Las inclusiones de algunas gemas están constituidas por materiales radioactivos, o algunos de sus átomos pueden estar sustituidos por elementos radioactivos. Estos elementos a lo largo del tiempo, sufren el fenómeno de la desintegración radioactiva, transformándose en otros de la serie radioactiva, emitiéndose en este proceso partículas alfa o beta que penetran en el cristal huésped y originan unos pequeños halos coloreados, llamados halos picocroicos, cuyo tamaño y número de anillos permite reconocer la clase de partículas que los originó.

También cuando un mineral radioactivo se transforma en otro de la serie sufre un aumento de volumen, lo que hace que se produzcan stress radiales en la piedra huésped alrededor de la inclusión. De este modo se originan los halos existentes alrededor de las inclusiones de uraninita, o los que se aprecian alrededor de los zircons en los zafiros de Ceylan. (Figura 10 y 11).

CUADRO I

CLASIFICACION GENETICA DE LAS INCLUSIONES

| | | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|---|--|
| Inclusiones protogenéticas | { | Sólidas (siempre) | { | De enfriamiento anterior (Yacimiento metamórfico). --Del mismo enfriamiento por diferente punto de fusión. |
| Inclusiones singenéticas | { | Sólidas minerales | { | Cristalinas (Euhédricas). Masivas o informes. |
| | | Líquidas | { | —Primarias (cristales negativos) —Secundarias (cavidades cicatrizadas) |
| | | Marcas de crecimiento | { | —Líneas de crecimiento —Líneas de maclado —Zonas de color |
| Inclusiones Epigenéticas | { | | | —Inclusiones minerales sólidas exolutivas (Recristalización) Inclusiones tensionales o mecánicas (Fracturas y fisuras) —Inclusiones radioactivas |

BIBLIOGRAFIA

- AMOROS, J. L.—*Cristaloquímica. Monografías de Ciencia Moderna* n.º 26. C.S.I. C. Instituto Lucas Mallada. Madrid, 1951.
—*Cristalofísica; I Propiedades continuas*. Colección "Ciencia y Técnica". Editorial Aguilar. Madrid, 1958.
- ANDERSON, B. W.—*Gemas, descripción e identificación*. Editorial Entasa. Madrid, 1976.
- AZAROFF, L. V.—*Introduction to solids*. "Mc Graw-Hill Book Company". Nueva Yor, 1960.
- BUCKLEY, H. L.—*Crystal growth*. Nueva York, 1951.
- BUEREN, H. G. van.—*Imperfections in crystals*. "North Holland Publishing Company". Amsterdam. 1961.
- CAVENAGO BIGNAMI, S.—*Gemmologia*. Ulrico Hoepli Editore. Milano. 1965.
- COTTRELL, A. H.—*Dislocations and plastic flow in crystals*. Clarendon Press. 1953.
- DEKKER, A. J.—*Solid state physics*. Prentice-Hall, inc. Englewood Cliffs, Nueva Yor., 1957.
- FRIEDEL, J.—*Dislocation interactions and internal strains, internal stress and fatigue in metals*. Elsevier Company. 1959.
- FUENTE CULLELL, C. de la.—*Noções elementales de cristalografía*. Eunibar, Barcelona. 1978.
- GARRIDO, J.—*Forma y estructura de los cristales*. Colección Exedra. Editorial Alhambra. Madrid. 1973.
- GAY, P.—*Introducción al estado cristalino*. EUNIBAR. Barcelona. 1977.
- GUBELIN, E. J.—*Contribución a la genealogía de las inclusiones*. "Revista Gemología", volumen I, número 2. Barcelona. 1969.
- Internal world of gemstones*. A. B. C. Edition. Zurich. 1974.
- HANNAY, N. B.—*Química del estado sólido*. Colección Exedra. Editorial Alhambra. Madrid. 1970.
- HOOK, A. van.—*Crystallization: Theory and Practice*. Reinhold Publishing Corp. Nueva York. 1961.
- HURLBUT, C. S.—*Manual de Mineralogía de Dana*. Editorial Reverté. Barcelona. 1976.
- JONG, W. F. de.—*Cristalografía general*. Editorial Aguilar. Madrid. 1967.
- KITTEL, C.—*Introduction to solid state physics*. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York. 1966.
- KROGER, F. A.—*Chemistry of imperfect crystals*. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York. 1964.
- MOFATT, W. G., PEARSALL, G. W. y WULFF, J.—*The structure and properties of materials*. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York. 1964.
- PAULING, L.—*The nature of the chemical bond*. Cornell y Oxford University Presses. 1960.
- READ, W. T.—*Dislocations in crystals*. McGraw Hill. 1953.
- SPICE, J. E.—*Enlace químico y estructura*. Colección Exedra. Editorial Alhambra. Madrid. 1967.
- WELLIS, A. F.—*Structural inorganic chemistry*. O. U. P. 1962.
- ZAPATERO, L.—*Inclusiones fluorescentes en cuarzo*. Boletín I. G. E. número 13. Madrid. 1976.
- Estudio de inclusiones por el método de los tres granos*. Boletín I. G. E. número 16. Madrid. 1977.



Fig. 1.—Cristal de apatito (1), de contorno exagonal, en contacto con una fisura (2), típico de los rubíes de Siam.

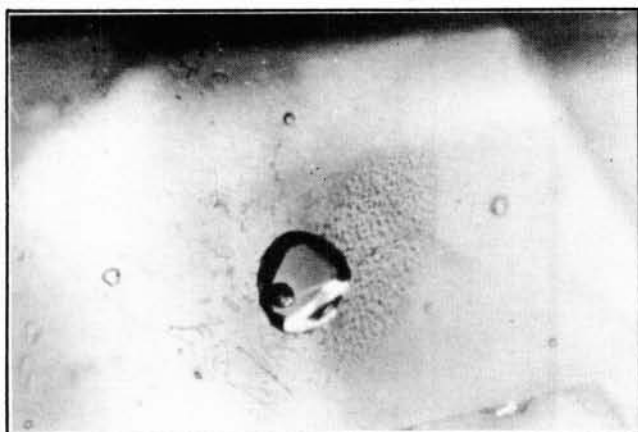
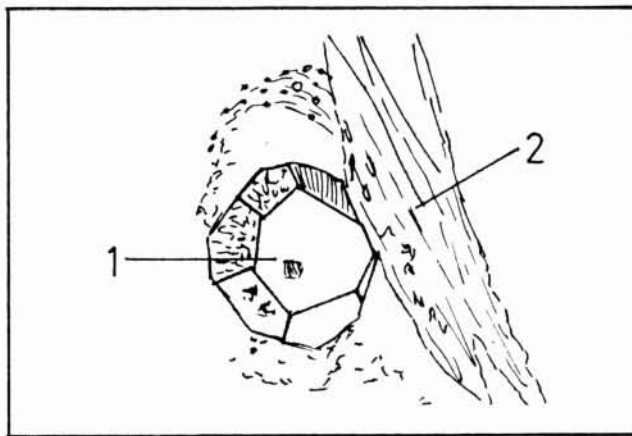


Fig. 2.—Gran inclusión bifásica (1), rodeada de un pequeño velo (2). (Rubí Ceylán).

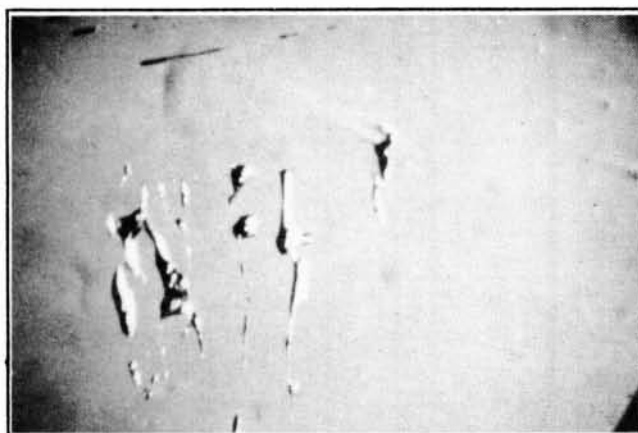
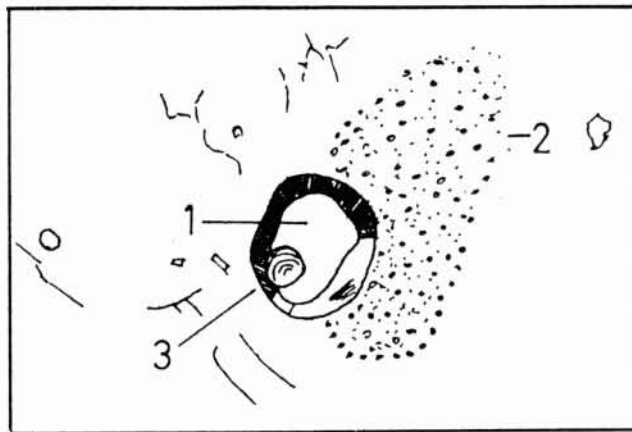


Fig. 3.—Inclusiones bifásicas, líquido (2) y burbuja de gas (1), en un topacio azul.

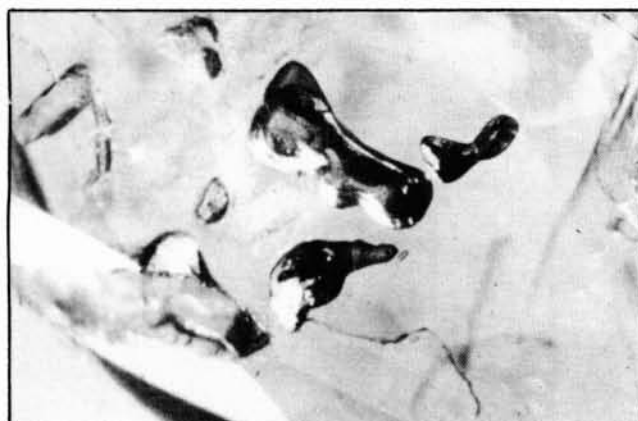
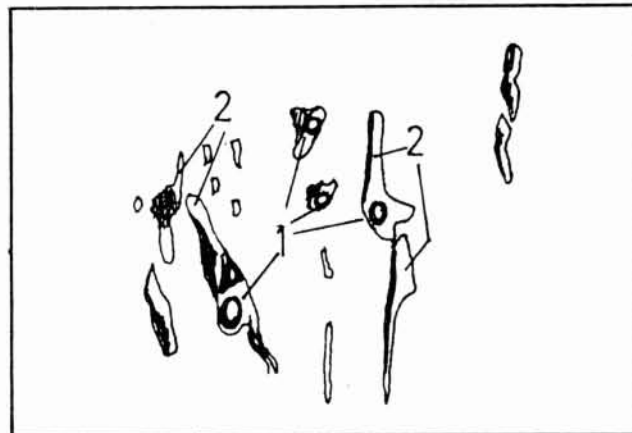
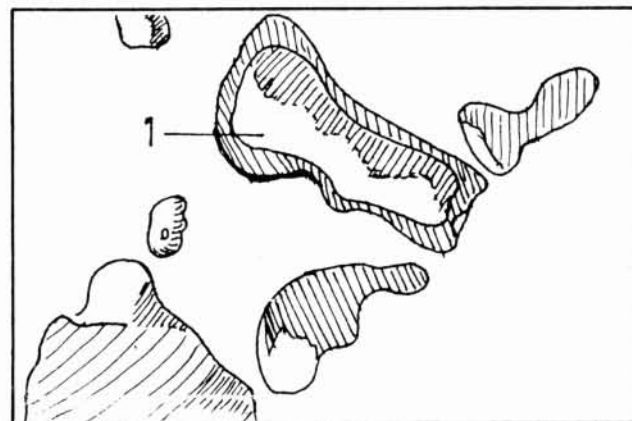


Fig. 4.—Grandes inclusiones bifásicas con líquidos oscuros y gran burbuja (1) gaseosa. (Rubí Ceylán).



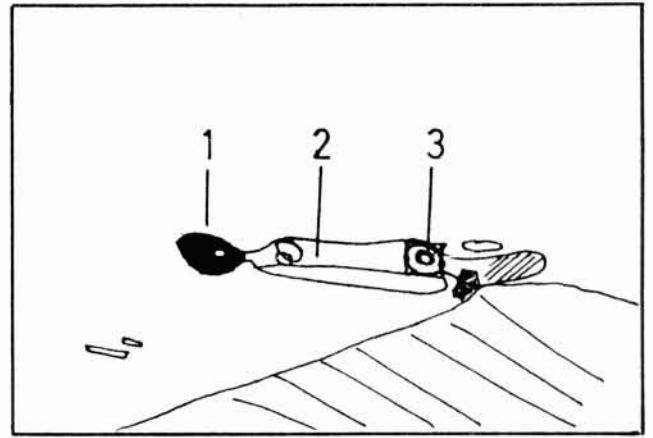


Fig. 5.—Inclusión trifásica, con gas (3), líquido (2) y depósito de oligisto de color negruzco (1). Zafiro de Ceylán).

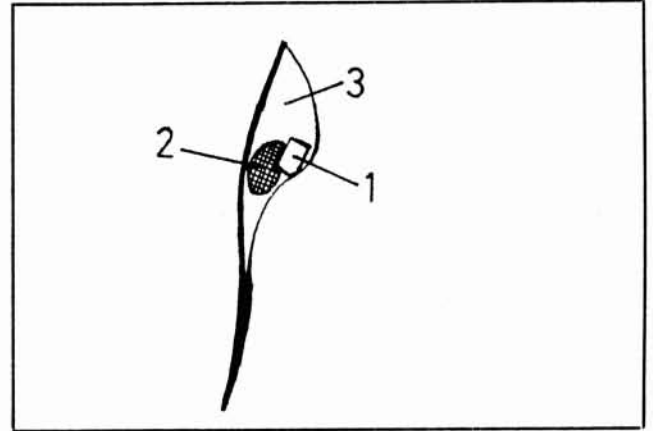
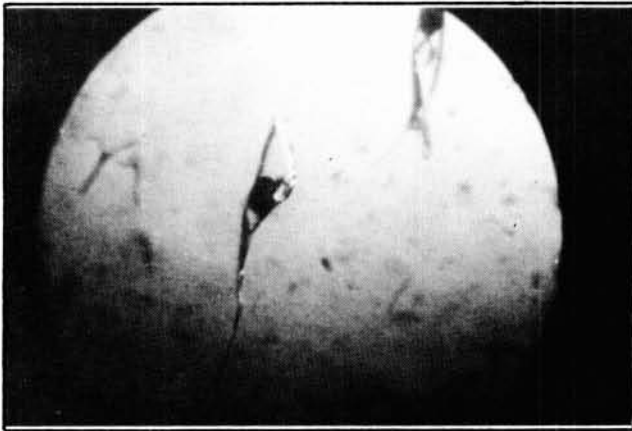


Fig. 6.—Inclusión trifásica, burbuja de gas (3), líquido (2) y cristal de ClNa (1) en una esmeralda de Colombia.

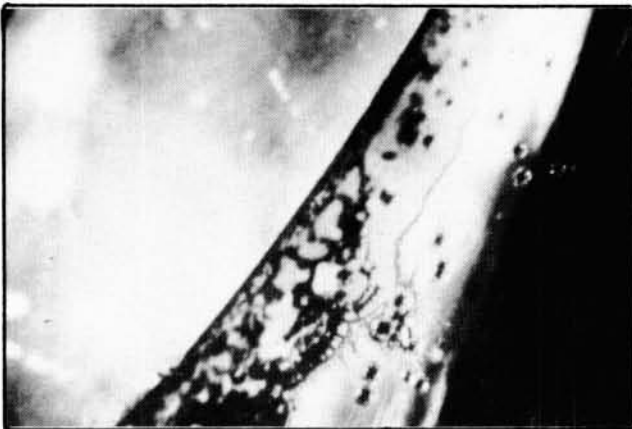
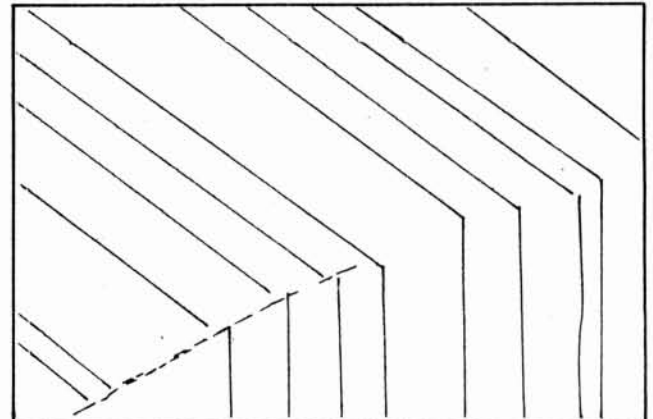
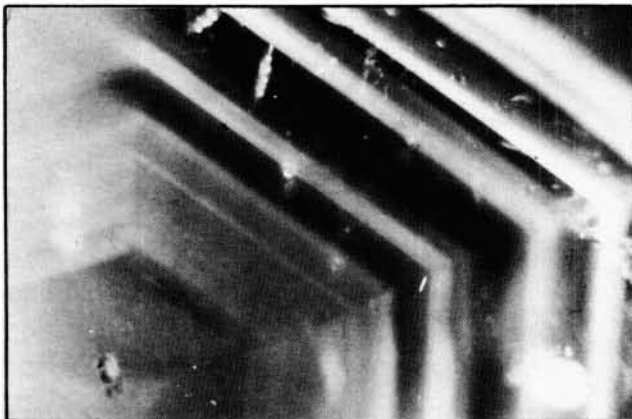


Fig. 7.—Óxidos de hierro que forman depósitos en una fisura cicatrizada (Apatito de Canadá).



14 Fig. 8.—Zonalidad producida por exolución de cristales de rutilo. (Zafiro de Australia).



Fig. 9.—Insecto englobado en ambar. Probablemente se trata de un mosquito.

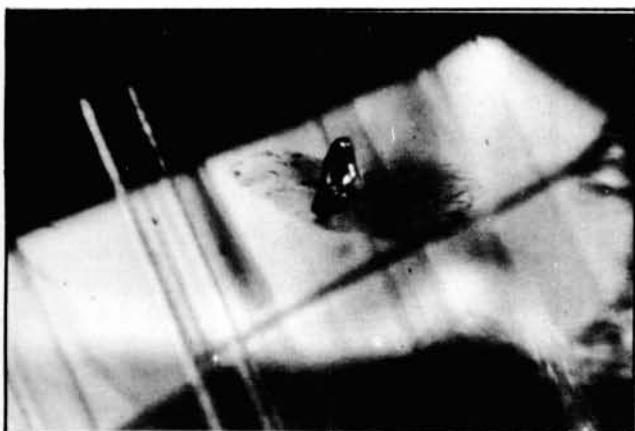
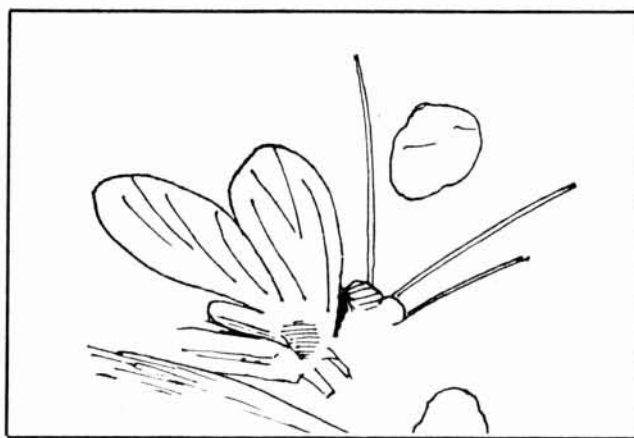


Fig. 10.—Cristal de zircón (1), parcialmente reabsorbido, con halo (2), que adopta la forma de las alas de un insecto. (Zafiro de Ceylán).

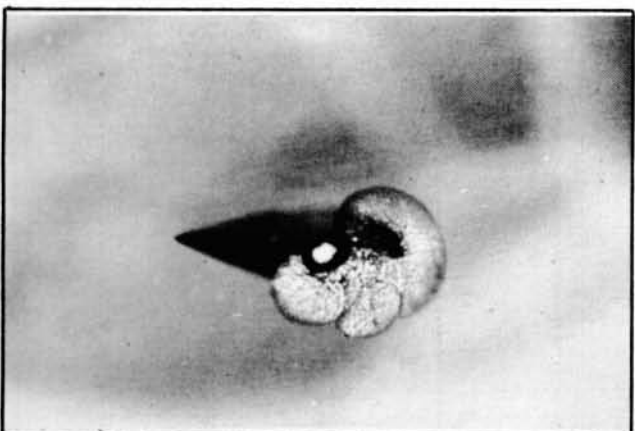
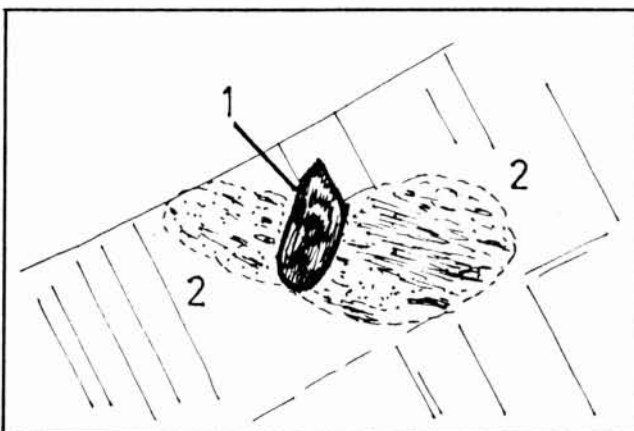


Fig. 11.—Cristal de pirrotina (1) con halo característico (2). (Rubí Siam).

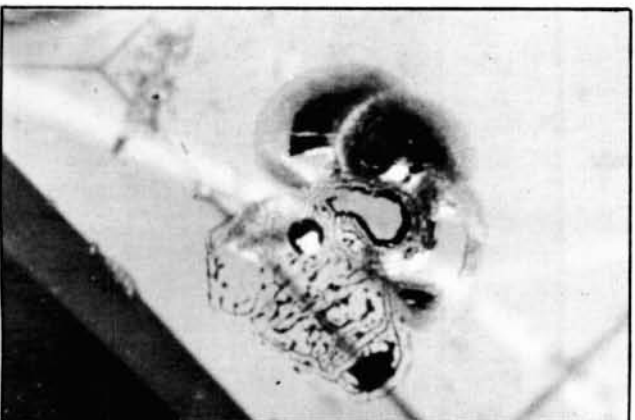
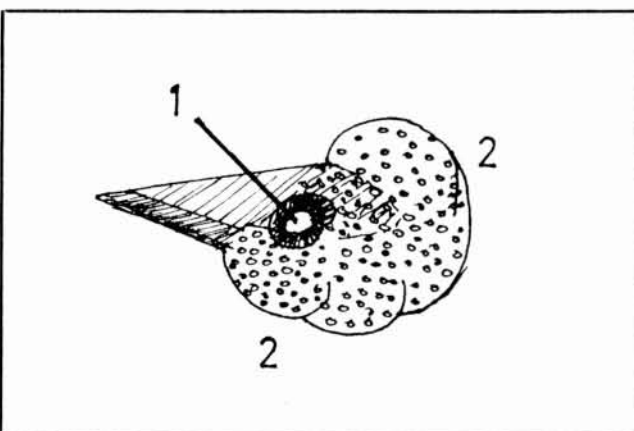


Fig. 12.—Cristales de pirrotina (1) con un gran halo de depósitos metálicos (2). (Rubí Siam).

